



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE LASEROVÉHO OBRÁBĚNÍ

TECHNOLOGY OF LASER MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Koupil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Koupil**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie laserového obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat charakteristikou technologie laserového pálení. Teoretická část práce bude zaměřena na charakteristiku technologie laserového obrábění a nastavení vhodných řezných podmínek, které budou mít vliv na výslednou kvalitu řezu. Praktická část práce se bude zabývat sestavením laserového pracoviště (standardizace a monitoring pracoviště) a aplikací technologie na zadanou součást. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením včetně rozboru navrženého řešení a porovnáním s konvenčním způsobem výroby.

Cíle bakalářské práce:

1. Teoretická část (charakteristika laserových technologií).
2. Experimentální část (standardizace pracoviště, aplikace technologie na zadanou součást) .
3. Technicko–ekonomické zhodnocení.
4. Diskuse výsledků.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-21-1996-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce byla zaměřena na nekonvenční metodu obrábění materiálu pomocí laserového paprsku. V první části byl popsán vývoj laseru v historii, princip fungování laseru a jeho konstrukce. Dále zde byly uvedeny typy laserů a jejich využití v praxi. Praktická část byla zaměřena na srovnání a kalkulaci konvenční a nekonvenční výroby a vypracování návrhu na změnu technologie výroby zadaných dílů. Následoval výběr vhodného stroje pro firmu a standardizace laserového pracoviště.

Klíčová slova

Laser, obrábění, paprsek, výběrové řízení, metoda 5S.

ABSTRACT

This bachelor thesis was focused on unconventional laser production. In the first section, there was described historical laser development, the principle of laser operation and its construction. Next section was dividing types of lasers and its practical using. Practical section was focused on comparison of calculation conventional and unconventional production and making a proposal to change production technology of the components. Last section was selection of a suitable form of the laser machine for the company and standardization of the laser workplace.

Key words

Laser, machining, beam, tender, method 5S.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUPIL, J. *Technologie laserového obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 51 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma TECHNOLOGIE LASEROVÉHO OBRÁBĚNÍ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....

Datum

.....

Jan Koupil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. a panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkovat Michalu Krestýnovi, IEn. a Ing. Robertu Adamimu z firmy Wanzl s. r. o. za vytvoření ideálních podmínek pro práci na této bakalářské práci a za poskytnutí informací spojených s praktickou částí. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině za projevenou podporu a nemalé množství trpělivosti, které musela během mého dosavadního studia obětovat.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Laser	9
1.1.1 Historie	9
1.1.2 Konstrukce a princip fungování laseru	9
1.2 Typy laserů.....	10
1.2.1 Plynové lasery	11
1.2.2 Pevnolátkové lasery.....	12
1.2.3 Polovodičové lasery	14
1.2.4 Kapalinové lasery	14
1.3 Využití laseru v praxi	14
1.3.1 Popisování a značení laserem	15
1.3.2 Řezání laserem.....	16
1.3.3 Vrtání laserem	17
1.3.4 Soustružení laserem	17
1.3.5 Svařování laserem.....	18
1.3.6 Frézování s předehřevem laseru	19
1.3.7 Dokončování povrchů laserem.....	19
1.4 Parametry laserového paprsku ovlivňující výsledný řez.....	19
1.4.1 Tepelně-fyzikální vlastnosti řezaného materiálu.....	19
1.4.2 Parametry řezného plynu	20

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
2.1 Produkty sloužící k porovnání technologií	22
2.2 Technologické postupy konvenční metody s časovou normou zadaných součástí a časy potřebnými k seřízení	23
2.3 Náklady na výrobu požadovaných součástí konvenční metodou	24
2.4 Technologické postupy nekonvenční metody s časovou normou zadaných součástí a časy potřebnými k seřízení	26
2.5 Náklady na výrobu požadovaných součástí nekonvenční metodou	27
2.6 Srovnání výrobních nákladů konvenční a nekonvenční výroby	29
2.7 Návrhnost stroje změnou technologie výroby	31
2.8 Výběr vhodného stroje pro firmu WANZL	31
2.9 Standardizace pracoviště	37
2.9.1 Vytvoření místa pro nový stroj	37
2.9.2 Sestavení laserového pracoviště	37
3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	44
DISKUZE VÝSLEDKŮ	45
ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	50
SEZNAM PŘÍLOH	51

ÚVOD

Když se řekne slovo LASER, tak si každý vzpomene na dětství, kdy si hrával s laserovým ukazovátkem a obtěžoval s ním všechny v jeho okolí nebo se každému promítne řada filmových snímků, kde hlavní hrdinové měli laserové zbraně nebo laserové meče. Nicméně lidí, kteří si při zmínění tohoto slova představí stroj, který umí přesně a rychle uřezat jakýkoliv tvar z téměř jakéhokoliv materiálu, už tolik není. Na tuto skupinu lidí je zaměřena tato práce a jsou zde shrnuty veškeré základní informace o laserovém záření, které se používá v různých odvětvích průmyslu.

V úvodní teoretické části bakalářské práce je shrnuto, jakým způsobem se laser v historii vyvíjel a jakým způsobem laser funguje, kde všude laser našel praktické využití, jaké typy laseru vlastně existují, nebo jakým způsobem ovlivňují řezné podmínky kvalitu řezu.

Obsahem praktické části je vypracování kalkulace rozdílných pracovních postupů a následné porovnání konvenčního a nekonvenčního způsobu výroby konkrétních dílů firmy WANZL s.r.o. (dále jen WANZL). Další část se dle těchto dílů zaměřuje na výběr vhodného laserového zařízení pro firmu WANZL. Následuje zpracování standardizace laserového pracoviště pomocí moderní metodiky 5S používané v lean procesech.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Laser

Výraz LASER vznikl z anglického sousloví Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v překladu do českého jazyka znamená zesílení světla pomocí stimulované emise záření. Jednoduše řečeno, k zesílení dochází opakovaným průchodem fotonů světla médiem a vytvořením „svazku světelných paprsků“ [1; 2].

1.1.1 Historie

Počátky teorie laserového záření sahají až do roku 1917, kdy se o něm jako první zmínil Albert Einstein v jednom ze svých tří děl o kvantové fyzice. Prvním člověkem, kterému se podařilo sestavit funkční laser, byl v roce 1960, americký fyzik T. H. Maiman. Šlo o tzv. rubínový laser, který využíval tři energetické hladiny rubínu, ale nebyl zdaleka tak efektivní jako další lasery, s kterými přišli Maimanovi nástupci. Tento nápad zdokonalili A. M. Prochorov, N. G. Basov a Ch. H. Townes, kteří využili více energetických hladin a tím dosáhli vyšší účinnosti a také souvislého laserového záření. V roce 1962 byl vyvinut CO₂ laser, který dosahoval vysokých výkonů. V roce 1965 bylo objeveno tzv. gravírování, což je značení materiálu, které se využívá dodnes. V roce 1967 byla vyrobena první pomocná tryska plynu, která zvyšuje výkon laseru, a její využití můžeme zaznamenat i v dnešní době u řezání plechu. V dalších letech se laser dále exponenciálně zdokonaloval a jeho využití si postupně nacházelo místo v různých odvětvích průmyslu [1; 2; 3; 4].

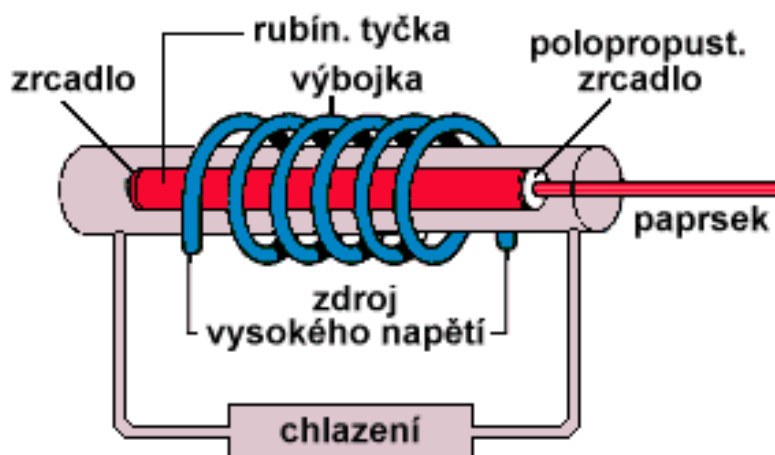
1.1.2 Konstrukce a princip fungování laseru

Laser se skládá z laserové hlavice, rezonátoru, laserového média (aktivní prostředí), polopropustného zrcadla, zdroje energie buzení, budicího zařízení (výbojka), chladicího systému a nepropustného zrcadla, viz obr. 1.1.

V aktivním prostředí, které je uzavřeno v obalu z vhodného materiálu splňujícího tyto parametry: průhlednost a schopnost odvádět vzniklé teplo, dochází ke stimulované emisi záření, která je vyvolána působením elektromagnetického záření na atom prvku. V tomto okamžiku dochází k přeskočení elektronu z nižší energetické hladiny do vyšší energetické hladiny. V důsledku nerovnovážného stavu elektron přeskočí zpět na nižší energetickou hladinu a při tom odevzdá energii okolí v podobě

monochromatického světla, které při přechodu do nižší vrstvy vyzařuje. Výbojka dodává energii aktivnímu prostředí a tím zajišťuje vyšší počet stimulovaných emisí. Ke zvýšení intenzity stimulované emise je nutný rezonátor, tedy dvě zrcadla, mezi kterými se odráží paprsek a po dosažení určité energie část paprsku opouští aktivní prostředí polopropustným zrcadlem a část paprsku v rezonátoru zůstává (kvůli zajištění další stimulované emise).

U průmyslových laserů je svazek paprsků upravován pomocí systému clon a čoček, známého jako expandér, který ale bohužel ovlivňuje výkon laseru, resp. ho snižuje. V praxi se přesto dává přednost vyšší kvalitě řezu před vyšším výkonem. V průmyslu je zapotřebí pohybu svazku paprsků a proto se používají buď pohyblivé motorizované stoly, nebo pohyblivé laserové hlavy. Pokud je zapotřebí přesného prostorového pohybu paprsku, používají se robotizované mechanismy nebo různé manipulátory. Nezbytnou součástí laserového stroje bývá řídicí počítač, který zajišťuje přesný a kontrolovaný chod stroje [1; 5].



Obr. 1.1 Konstrukce laseru [6].

1.2 Typy laserů

V dnešní době existuje několik typů laserů a každý z nich má jiné využití. Existuje vícero dělení laserů dle různých hledisek. Např. podle aktivního prostředí: pevnolátkové lasery, polovodičové lasery, kapalinové lasery, plynové lasery a plazmatické lasery. Toto dělení je v dnešní době nejběžnější, a proto se s ním v této bakalářské práci bude pracovat. Dále je známé dělení dle časového provozu laseru: impulsní lasery a kontinuální lasery. Dále se lasery dají dělit dle vlnové délky

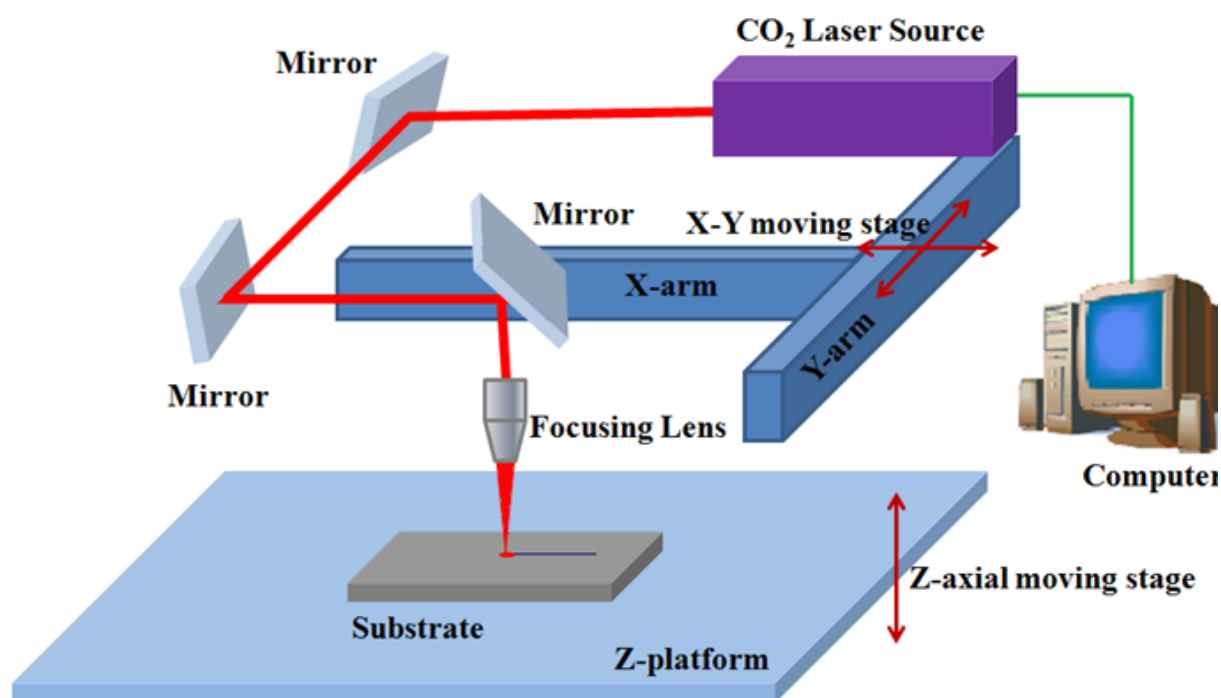
laserového světla: lasery s infračerveným zářením, lasery s viditelným zářením, lasery s ultrafialovým zářením a lasery s rentgenovým zářením. Dále je známo dělení dle typu kvantových přechodů, dle typu buzení nebo dle délky generovaného pulzu [7; 8].

1.2.1 Plynové lasery

Aktivním prostředím, jak už název tohoto typu napovídá, je látka v plynné fázi. Plynové lasery dokáží pracovat jak v kontinuálním režimu, tak i pulsním režimu. Je řada možností jak se dá budit plynový laser. Mezi tyto možnosti patří elektrický výboj, chemická reakce, rychlá expanze plynu, fotodisociace nebo průchod svazku rychlých elektronů. Do skupiny plynových laserů patří následující typy:

- Helium-neonový laser – Aktivní prostředí tohoto laseru tvoří vybuzené atomy neonu. Atomy jsou buzeny ve skleněné trubici naplněné směsí plynů helia a neonu elektrickým výbojem vysokofrekvenčními prstencovými elektrodami. Celá trubice je mezi zrcadly a je součástí rezonátoru. Laserové záření můžeme zařadit mezi infračervené záření s vlnovou délkou 1,15 μm ; 3,39 μm a 0,633 μm . Využití helium-neonového laseru je možno zaregistrovat u měřicí techniky, vysoce přesných hodin a také své uplatnění našel v holografii a geodézii.
- Argonový laser – Aktivním prostředím laseru jsou ionty argonu. Ionty jsou stejně jako u helium-neonového laseru buzeny elektrickým výbojem, pro který je typická vysoká hustota elektrického proudu a také vysoká teplota. Výbojová trubice bývá většinou vyrobena z keramiky a stěny bývají izolované od proudu magnetickým polem. Laserová záření mají vlnové délky o velikostech: 457,9 nm; 465,7 nm; 472,7 nm; 488,0 nm; 496,5 nm a 514,5 nm.
- Excimerový laser – Aktivní prostředí tvoří excimery, což jsou vysoce nestabilní molekuly, které mohou existovat například v plynovém výboji s atomy ve vysoce vybuzených, excitovaných stavech. Buzení laseru probíhá opět elektrickým výbojem nebo svazkem rychlých elektronů. Při rozpadu těchto molekul vzniká ultrafialové záření. Excimerový laser našel své uplatnění v selektivní laserové fotochemii, v medicíně a ve fyzikálních a biochemických výzkumech.

- CO₂ laser – aktivní prostředí obsahuje molekuly oxidu uhličitého, dusíku, helia a někdy i další přídavné plyny. Plyn je přiváděn do trubice a v ní je potom elektrická energie plynu přeměněna výbojem na laserové záření, které osciluje v rezonátoru, tvořeným dvěma či více zrcadly. U CO₂ laserů, viz obr. 1.2, vzniká infračervené záření o vlnové délce 10,6 μm. Tento typ laseru našel své uplatnění zejména ve strojírenství a je využíván k řezání, svařování, vrtání, popisování součástí (tzv. gravírování) a nanášení povlaků. CO₂ lasery se dělí dále na CO₂ lasery s pomalým axiálním prouděním, CO₂ lasery s rychlým axiálním prouděním, CO₂ lasery s příčným prouděním a SLAB lasery. Výhodami CO₂ laseru jsou vysoká rychlost procesu, možnost obrábění silnějších materiálů a menší tepelně ovlivněná část materiálu [7; 8; 9; 10].



Obr. 1.2 Schéma CO₂ laseru [13].

1.2.2 Pevnolátkové lasery

Tento typ laseru používá jako aktivní prostředí pevnou, opticky propustnou látku. Pevná látka by měla zpravidla obsahovat ionty vzácných zemin, popřípadě také některé další prvky. Amorfni matrice nosného materiálu je pak v poměrně nízkém

podílu obohacena ionty těchto prvků, které jsou zdrojem stimulovaného záření. Do této skupiny patří následující typy laserů:

- Rubínový laser – aktivním prostředím tohoto laseru, jak už název napovídá, je rubín (Al_2O_3), který je aktivován ionty Cr_3^+ substitucí za Al. Tento laser je náročný, co se týče čerpacího výkonu, kterého je zapotřebí značné množství, neboť je tříhladinový a k dosažení inverze je zapotřebí přečerpání minimálně polovinu Cr_3^+ , což stojí hodně energie. Energie se generuje absorpcí světelné energie z čerpacích výbojek. Tento laser generuje záření s vlnovou délkou $0,6943 \mu\text{m}$ a pracuje z větší části v pulsním režimu. V průmyslu se používá zřídka a to k vyvrtávání v tvrdých materiálech. Používá se v lékařství v dermatologii a v laserové lokaci družic. V současné době bývá nahrazován Nd:YAG laserem.
- Nd: YAG laser – současně je to asi nepoužívanější typ pevnolátkového laseru. Aktivním prostředím tohoto laseru je krystal yttrium-aluminiového granátu $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ve tvaru tyčí o kruhovém průřezu nebo ve formě seříznutých kvádrů, známých jako SLAB technologie. Čerpací systém tvoří jedna nebo více výbojek na bázi kryptonu. Výbojky a krystal jsou obsahem rezonátoru různého tvaru, za podmínky, že většina světla z výbojek je odrážena do krystalu. Aktivní prostředí s výbojkami je chlazeno deionizovanou vodou. Tento laser generuje záření s vlnovou délkou $1,06 \mu\text{m}$ a pracuje v pulsním i kontinuálním režimu. V kontinuálním režimu se Nd: YAG laser používá v chirurgii jako skalpel a v pulsním režimu se tento laser používá v oční mikrochirurgii. Další využití můžeme hledat ve spektrometrii nebo radarové technice.

Do skupiny pevnolátkových laserů patří dále Nd: sklo laser (aktivním prostředím je sklo, pracuje v pulsním režimu), Nd: YLF laser (aktivním prostředím je LiYF_4) nebo Er: YAG laser (aktivním prostředím je $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), ale jejich využití není tak časté jako u předchozí dvou typů, proto se jimi autor v této práci dopodrobna nezabýval [7; 8; 9].

1.2.3 Polovodičové lasery

Aktivním prostředím polovodičových laserů je polovodičový materiál. Aktivními částicemi tohoto materiálu jsou nerovnovážné elektrony a díry, což jsou volné nosiče náboje, které jsou generovány. Polovodičové lasery mají řadu výhod – jsou kompaktní, mají vysokou účinnost, která dosahuje až 50 %, dá se přeladit v širokém spektrálním pásmu a výběrem vhodného aktivního prostředí lze generovat záření o různých vlnových délkách. Mezi nevýhody patří vyšší rozbíhavost laserového záření. Polovodičové lasery našly uplatnění při gravírování, řezání, svařování nebo například v technologii zvané Rapid Prototyping (3D tisk). Mezi tyto lasery patří polovodičový laser buzený svazkem elektronů, známý jako diodový laser (aktivní prostředí tvoří diody) nebo injekční polovodičový laser (aktivní prostředí tvoří polovodiče typu P a N) [8; 9; 10; 11].

1.2.4 Kapalinové lasery

Aktivní prostředí kapalinových laserů tvoří roztoky různých organických barviv. Jako buzení kapalinových laserů se užívá optické záření. Díky kombinaci tohoto záření a široké palety kombinací barviva jsme schopni docílit světla různých vlnových délek v rozsahu od 300 nm až 1500 nm. Kapalinové lasery našly využití například ve spektroskopii, v medicíně při fotodynamické terapii (laser vyzařuje světlo o určité vlnové délce mířené na rakovinotvorný nádor, který je „napuštěn“ barvivem, které se po ozáření rozpadá) [8; 12].

1.3 Využití laseru v praxi

Laser našel několik možností využití v praxi – v lékařství, kosmetice, astronomii, stavebnictví a mnoha dalších, ale největší procento si našel v oblasti strojírenství. Ve strojírenství lze laser použít pro řadu technologických operací [14; 15; 16]:

- popisování,
- řezání, vyřezávání,
- vrtání,
- mikroobrábění,
- soustružení, frézování,
- gravírování,

- dokončování povrchů,
- povlakování,
- čištění a odstraňování tenké povrchové vrstvy,
- svařování a pájení,
- tepelné zpracování,
- Stereolitografie a Rapid Prototyping,
- tváření,
- měření – metrologie.

Laserová technologie je vhodná především tam, kde je kladen důraz na přesný, tenký, rychlý, ale také kvalitní řez. Tato technologie je vhodná jak pro kusovou výrobu, tak pro sériovou výrobu [14; 15; 16].

1.3.1 Popisování a značení laserem

Existuje pět možností, jak značit a popisovat materiál, ale doposud se tomu neporozumělo natolik, aby tyto možnosti šly modelovat nebo simulovat. Jedna z možností je na obr. 1.3. Popisování a značení dělíme tímto způsobem [14; 15; 16]:

- Pěnění a tvorba mikrotrhlin – tato metoda je založená na tvorbě plynových bublin u povrchu materiálu. Bubliny jsou obklopeny nataveným materiálem, který dodává popisku dostatečný kontrast. Kontrast popisu se dá zvýšit mírným navýšením teploty, která umožní plynovým bublinám vystoupat mnohem více na povrch. Při tomto značení se nedegraduje materiál, ani nedojde k úběru materiálu, pouze na povrchu dojde ke změně mikrostruktury. Tento typ značení se používá především pro značení polymerů.
- Odbarvení – materiál absorbuje energii z paprsku a přeměňuje energii na teplo, které způsobuje tepelnou degradaci. U polymerů a dřeva se degradace projeví zčernáním. Výhodou tohoto značení je, že neovlivňuje povrch materiálu. Tohoto značení se využívá zejména ke značení speciálních plastů s pigmenty, vysoce legovaných ocelí nebo mosazi.
- Bělení – tento typ značení využívá fotochemické reakce. Radiace krátkých vln dokáže disociovat molekuly, což způsobí změnu barvy. Bělení se používá u speciálních plastů s pigmenty.

- Gravírování – při gravírování dochází k natavení materiálu, následném odfouknutí nebo odpaření materiálu. Výsledkem je úběr materiálu do hloubky v řádech mikrometrů až desetin milimetrů. Hloubka se dá měnit v závislostech na požadavcích. Běžně se gravíruje do hloubky 0,1 mm.
- Odstraňováním povrchových vrstev materiálu – dochází k ohřevu materiálu nad teplotu potřebnou k jeho odpaření. Dochází k odstranění materiálu s malým porušením okolního materiálu. Metoda se používá u homogenních materiálů, např. povlakovaných substrátů.



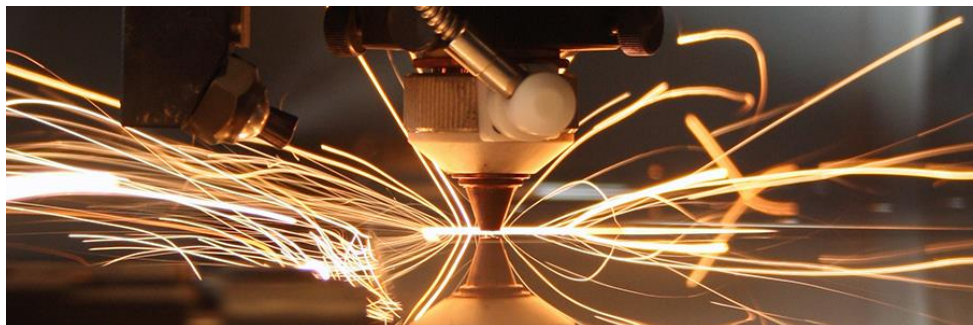
Obr. 1.3 Popisování laserem [17].

1.3.2 Řezání laserem

Řezání laserem se využívá pro přesné řezy nebo pro vyřezání drážky a následně kontrolovaný lom, viz obr. 1.4. Existují tři způsoby řezání [14; 15; 16]:

- Sublimační řezání – materiál je odstraněn odpařováním. Tato metoda se v dnešní době moc neužívá z důvodu omezení řezaných tloušťek materiálu. Je vyžadována vysoká hustota paprsku, čehož důsledkem je také drahý provoz laseru.
- Tavné řezání – materiál je paprskem nataven a následně vyfukovacím plynem odfouknut. Při tomto typu řezání nedochází k oxidaci řezu a řez nevyžaduje již žádné další úpravy, díky dosahujícím kvalitám řezu.

- Řezání pálením – materiál se ohřeje na zápalnou teplotu. Díky reaktivnímu plynu O_2 , který je po celou dobu řezání přiváděn, materiál exotermickou reakcí shoří.



Obr. 1.4 Řezání laserem [18].

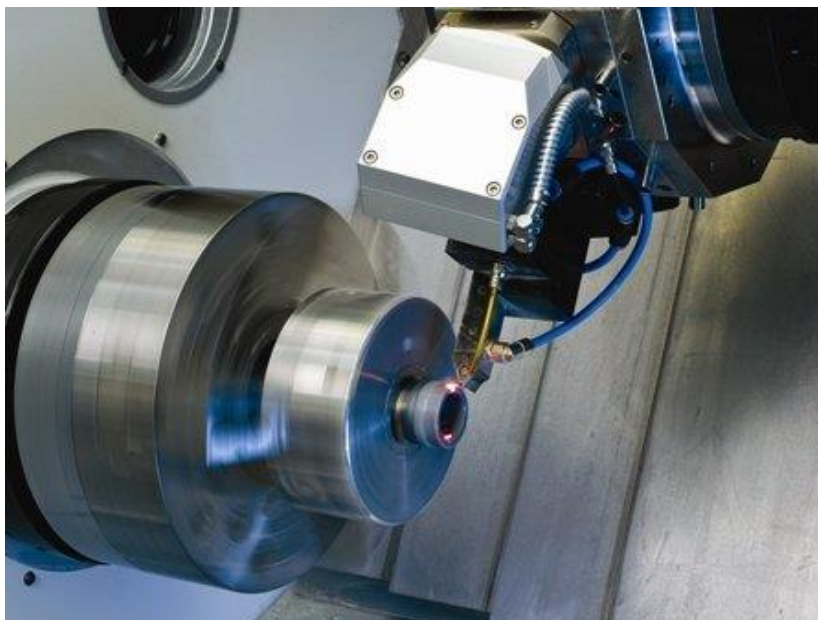
1.3.3 Vrtání laserem

Laser se také využívá k vrtání děr. Vrtání touto nekonvenční metodou postupně nahrazuje vrtání konvenčními způsoby – vrtačkou, kvůli vyšší dosahované přesnosti a vyšší rychlosti. Nejmenší možný průměr díry, kterého je možné vrtáním dosáhnout je 0,2 mm a to CO_2 laserem [14; 15; 16].

1.3.4 Soustružení laserem

Existují tři metody soustružení s využitím laseru, viz obr. 1.5 [14; 15; 16]:

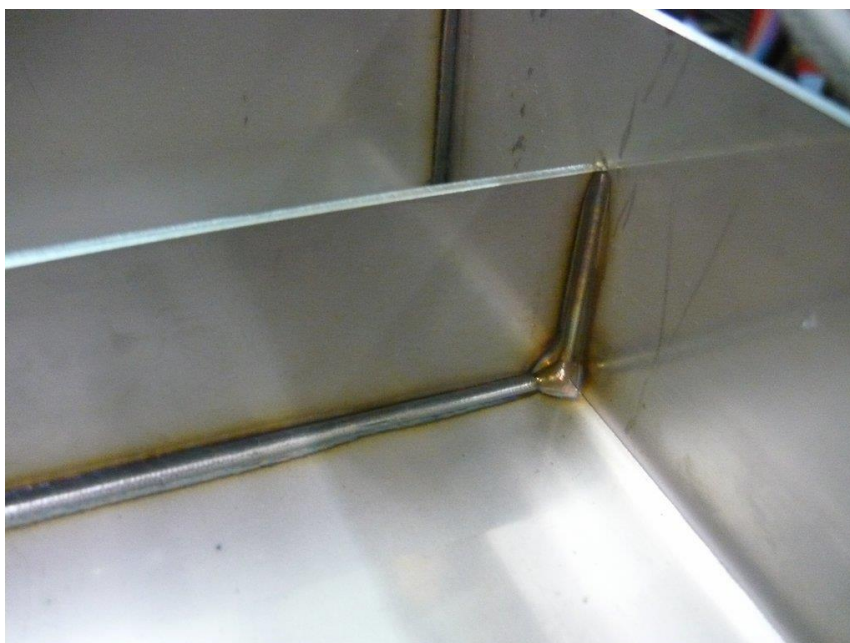
- Obrábění s předehřevem – dochází k předehřevu materiálu na dostatečnou teplotu ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), což způsobuje měknutí materiálu a snížení pevnosti a tvrdosti. Díky tomuto předehřevu laserem, není nutno soustružit za přítomnosti procesních kapalin a emulzí.
- Odtavování materiálu z povrchu obrobku – princip je obdobný jako u tavného řezání – obrobek se točí proti směru paprsku, materiál je natavován paprskem laseru a asistenčním plynem je následně vyfukován.
- Odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru – dva paprsky jsou nasměrovány na obrobek pod určitými úhly.



Obr. 1.5 Soustružení laserem [19].

1.3.5 Svařování laserem

Svařování laserem patří mezi přesnější a rychlejší metody svařování kovů, viz obr. 1.4. Svár je hladký, souvislý bez trhlin a nečistot. Největší výhodou svařování laserem je nízká teplotní deformace okolního materiálu. Další výhodami jsou například snadná implementace automatizovaného svářecího procesu nebo možnost kontrolovat kvalitu sváru on-line [14; 15; 16].



Obr. 1.4 Svařování laserem [20].

1.3.6 Frézování s předehřevem laseru

Frézuje se za přítomnosti paprsku, který je před břit přiváděn dutinou vřetena, paralelně s osou vřetena. Materiál je předehříván a dochází ke snížení opotřebení nástroje a poklesu řezných sil o 40 % až 60 % [14; 15; 16].

1.3.7 Dokončování povrchů laserem

Paprsek působí tangenciálně na rotující obrobek, v důsledku dochází k zahlázení mikronerovností a vyčištění povrchu po předchozím obrábění. Metoda se používá pro dokončování povrchu u plastů, keramiky a také pro leštění kovových materiálů. Touto metodou se dokončuje také výroba titanových implantátů [14; 15; 16].

1.4 Parametry laserového paprsku ovlivňující výsledný řez

Laserový paprsek je definován svojí vlnovou délkou, výkonem, rozdělením hustoty energie v příčném průřezu (módu), polarizací, divergencí a průměrem. Pro dosažení dostatečné hustoty energie pro řezání je laserový paprsek upravován optikou, která je definována ohniskovou vzdáleností, transparencí, absorpcí a reflexivitou, fokusační kaustickou plochou a hloubkou ostrosti. Řezný proces také ovlivňuje poloha fokusační optiky v závislosti k povrchové ploše materiálu. Bohužel tyto parametry jsou pouze principiální a nelze je u laseru měnit, pro technologický proces jsou důležité tyto parametry [21]:

- výkon laserového paprsku,
- ohnisková vzdálenost optiky,
- poloha ohniska ve vztahu k povrchové ploše obrobku,
- transparence fokusační optiky.

1.4.1 Tepelně-fyzikální vlastnosti řezaného materiálu

Technologický proces je samozřejmě ovlivňován tepelně-fyzikálními vlastnostmi materiálu a ty jsou následující [21]:

- reflexivita řezaného materiálu rozhodující pro vlnovou délku laserového paprsku,
- hustota materiálu,
- tepelná kapacita,

- skupenské teplo tání,
- skupenské teplo výparné,
- tepelná vodivost,
- teplota tání,
- teplota vypařování,
- chemická energie vzniklá při reakci řezaného materiálu s kyslíkem,
- elektrický odpor materiálu.

1.4.2 Parametry řezného plynu

Technologický proces řezání je ovlivňován i těmito parametry řezného plynu [21]:

- druh plynu,
- pracovní tlak,
- průměr trysky, kterou řezný plyn proudí,
- geometrie tvaru trysky.

Parametry řezného plynu, zejména geometrie tvaru trysky a tlak plynu, ovlivňují výslednou kvalitu řezu, drsnost povrchu řezné plochy a tvorbu otřepů. Rozlišují se tři typy řezání [21]:

- nízkotlaké,
- středotlaké,
- vysokotlaké.

Přičemž tlak plynu při nízkotlakém řezání se pohybuje do 100 kPa, při středotlakém do 500 kPa a vysokotlakém do 2 MPa. Klasická tryska je kuželovitá s kruhovým otvorem a musí být v co nejmenší možné vzdálenosti od materiálu, obvykle 0,5 mm až 2,5 mm. Průměr trysky se volí v závislosti na tloušťce řezu. Musí se ale počítat se zanášením trysky nečistotami, proto se volí průměr trysek v rozmezí 1 mm až 2,5 mm. Spotřeba plynu je závislá na průměru trysky a tlaku plynu [21].

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Rozdíl mezi průměrným zaměstnancem a dobrým zaměstnancem je prostý. Průměrný zaměstnanec udělá vše, co se mu řekne, můžeme ho označit i jako spolehlivého zaměstnance. Ale dobrý zaměstnanec neudělá jen, co se mu řekne. Dobrý zaměstnanec si všímá okolí a přemýšlí, jak by si usnadnil práci a jak by zefektivnil každý pohyb, který za směnu provede. Takový zaměstnanec mívá většinou plno postřehů a bývá oceňován vedením za aktivitu a přínosy firmě za plno vylepšení, které mohou ušetřit mnoho financí, bez toho aniž by se musela nějakým způsobem ovlivnit dosavadní kvalita vyráběného zboží. Ocenění, mnohdy i finanční odměna, by pro něj měla být zároveň motivací k tomu, aby přemýšlel u práce ještě víc. Takového produktivního zaměstnance si vedení všímá a tím pádem se řadí na listinu kandidátů vhodných k povýšení ve firmě.

A právě od dobrého zaměstnance musí vzejít ten impuls, který přivede vedení společnosti k zamyšlení nad tím, jestli by se nedala výroba zefektivnit například změnou technologie výroby. Autor práce ovšem směřuje, jak už název bakalářské práce napovídá, k náhradě obrábění konvenční metody nekonvenční metodou. V případě firmy WANZL můžeme nekonvenční metodu označit jako obrábění pomocí laserového paprsku. V realitě to funguje následně. Než se koupí nový stroj, musí se provést řada výpočtů, aby se dokázalo, zda se nová technologie vyplatí nebo ne. Z dosažených výsledků se pro lepší přehlednost a snadnou orientaci vypracuje grafické znázornění, které zároveň bude fungovat jako obhajoba návrhu na změnu dosavadní technologie výroby určitého sortimentu firmy. Vedení firmy návrh zhodnotí podle svého uvážení, a buď návrh zamítne, nebo schválí. Po schválení následuje vypracování požadavků na nový stroj, výběrové řízení, samotný nákup nového stroje a tvorba nového pracoviště.

Úkolem praktické části bylo detailně vypracovat návrh na změnu technologie výroby poskytnutých produktů firmy, vypsát výběrové řízení pro nákup nového stroje a na závěr sestavit a standardizovat pracoviště. Návrh by měl obsahovat:

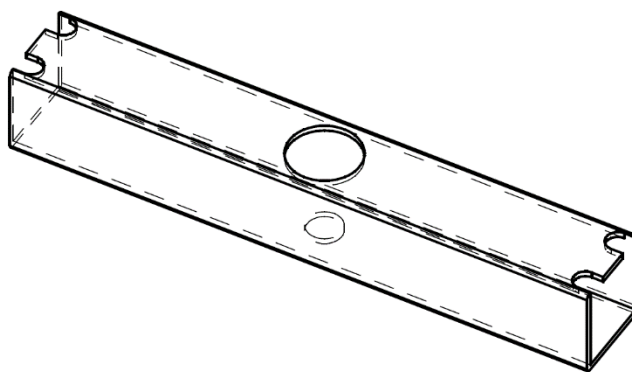
- výkresy produktů,
- vlastní technologický postup jak metody konvenční, tak metody nekonvenční při výrobě zadaných produktů,

- kalkulaci strojního času a výrobní ceny dle hodnot poskytnutých firmou,
- výpočet návratnosti nové technologie.

2.1 Produkty sloužící k porovnání technologií

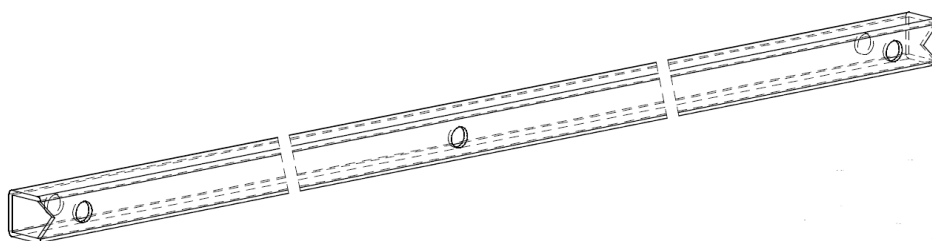
K porovnání metody konvenční s metodou nekonvenční budou sloužit následující tři komponenty, které byly poskytnuty firmou. Tyto tři součásti se vyráběly delší dobu konvenčně, v ojedinělých případech si firma objednávala výrobu i u jiných dodavatelů.

1) Součást 1 - Jäkl s dírou pro tažný čep



Obr. 2.1 Jäkl s dírou pro tažný čep.

2) Součást 2 - Jäkl s dírami



Obr. 2.2 Jäkl s dírami.

3) Součást 3 - Jäkl pro bočnici pro regálový vozík



Obr. 2.3 Jäkl pro bočnici pro regálový vozík.

2.2 Technologické postupy konvenční metody s časovou normou zadaných součástí a časy potřebnými k seřízení

Technologické postupy výroby zadaných součástí jsou velice podobné. Základem je uřezání přesného rozměru zadané součástí na poloautomatické pile, následuje strojní kartáčování, které očistí povrch a začistí případné prohlubně a drobné otřepy po řezání. Do hotového polotovaru se vyvrtají na stojanové vrtačce díry. Případně se vysekne odtoková díra. Ke každé technologické operaci je připsána časová norma, která bude sloužit k výpočtu strojních časů a výrobní ceny.

1) Součást 1

Technologický postup viz tab. 2.1.

Tab. 2.1 Strojní časy – Součást 1.

Součást 1	Strojní čas [min]
Řezání + kartáčování	0,9
Vrtání děr	1,6

2) Součást 2

Technologický postup viz tab. 2.2.

Tab. 2.2 Strojní časy – Součást 2.

Součást 2	Strojní čas [min]
Řezání + kartáčování	0,7
Vrtání děr	1,3
Výstřih	0,4

3) Součást 3

Technologický postup viz tab. 2.3.

Tab. 2.3 Strojní časy – Součást 3.

Součást 3	Strojní čas [min]
Řezání + kartáčování	0,7
Vrtání děr	15,6

2.3 Náklady na výrobu požadovaných součástí konvenční metodou

U výpočtu celkových výrobních nákladů hraje hlavní roli hodinová sazba seřizovače + doba seřízení a výrobní hodinová sazba, do které jsou zahrnuty platy zaměstnanců, kteří se na výrobě určitým způsobem podílí, amortizace nástroje, spotřeba energie stroje a veškeré další výdaje spojené s výrobou.

Hodinovou sazbu na seřízení a hodinovou sazbu na výrobu na jednotlivých pracovištích poskytla firma a z obdržených hodnot se vypočítaly celkové náklady na výrobu.

1) Součást 1

Náklady na seřízení:

$$C_{seř} = \sum H_{seř} \cdot T_{seř} \text{ [Kč]}, \quad (2.1)$$

kde: $C_{seř}$ [Kč] je cena seřízení jednoho stroje,

$H_{seř}$ [Kč/hod.] je hodinová sazba seřízení jednoho stroje,

$T_{seř}$ [hod.] je čas potřebný k seřízení jednoho stroje,

$$C_{seř} = 549 \cdot 0,17 + 532 \cdot 0,17 = 183,8 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti:

$$C_{vyr} = \sum H_{vyr} \cdot T_{vyr} \text{ [Kč]}, \quad (2.2)$$

kde: C_{vyr} [Kč] je cena jednoho výrobního procesu,

H_{vyr} [Kč/hod.] je hodinová sazba jednoho výrobního procesu,

T_{vyr} [hod.] je čas potřebný na jeden výrobní proces,

$$C_{seř} = 0,0150 \cdot 852 + 0,02503 \cdot 930 = 36,10 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena:

$$C_{celk} = C_{seř} + C_{výr} \cdot n \text{ [Kč]}, \quad (2.3)$$

kde: C_{celk} [Kč] je celková výrobní cena,
 n [-] je počet vyráběných kusů.

$$C_{celk} = 183,77 + 36,06 \cdot 5000 = 180488,80 \text{ Kč.}$$

Jelikož se do celkové výrobní ceny započítává z prostého důvodu pouze jedno seřízení, mění se tím pádem i cena za jeden kus, proto byla vytvořena tab. 2.4 pro různý počet kusů.

Tab. 2.4 Celková výrobní cena pro různý počet kusů součásti 1.

Součást 1	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	219,90	544,40	1986,90	3789,90	36244,80	180488,70

2) Součást 2

Náklady na seřízení (výpočet dle vzorce 2.1):

$$C_{seř} = 549 \cdot 0,17 + 532 \cdot 0,17 + 549 \cdot 0,42 = 414,50 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti (výpočet dle vzorce 2.2):

$$C_{seř} = 0,0116 \cdot 852 + 0,0216 \cdot 930 + 0,0056 \cdot 937 = 35,20 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena (výpočet dle vzorce 2.3):

$$C_{celk} = 414,35 + 35,22 \cdot 5000 = 177413,70 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena pro různý počet kusů viz tab. 2.5.

Tab. 2.5 Celková výrobní cena pro různý počet kusů součásti 2.

Součást 2	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	449,80	768,40	2184,40	3954,40	35814,30	177413,70

3) Součást 3

Náklady na seřízení (výpočet dle vzorce 2.1):

$$C_{seř} = 549 \cdot 0,17 + 532 \cdot 0,17 = 183,80 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti (výpočet dle vzorce 2.2):

$$C_{seř} = 0,0116 \cdot 852 + 0,2599 \cdot 930 = 251,70 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena (výpočet dle vzorce 2.3):

$$C_{celk} = 183,77 + 251,59 \cdot 5000 = 1258846,30 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena pro různý počet kusů viz tab. 2.6.

Tab. 2.6 Celková výrobní cena pro různý počet kusů součásti 3.

Součást 3	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	435,50	2701,10	12770,40	25357,10	251916,30	1258846,30

2.4 Technologické postupy nekonvenční metody s časovou normou zadaných součástí a časy potřebnými k seřízení

Technologický postup při výrobě součástí nekonvenční metodou, resp. obráběním pomocí laseru, je mnohem jednodušší jak z časového hlediska, tak z hlediska toho, že se seřizuje pouze jeden stroj. Z toho plyne, že zbylí zaměstnanci, kteří se podíleli na konvenční výrobě, se mohou přesunout na jiné pracoviště a tím logicky dojde ke zvýšení efektivity pracovní síly.

Technologický postup je prostý – v programu, který bývá dodáván k zařízení, se vymodeluje 3D model vyráběné součásti. Dále se v přiloženém editoru vytvoří nástřihový plán, který vypočítá časovou normu a množství materiálu, které bude na výrobu potřeba. Program se po síti nahraje do stroje. Dále se do zásobníku stroje naloží dostatečné množství materiálu, aby množství pokrylo výrobu celé zakázky. Ve stroji se nastaví materiál, ze kterého stroj bude vyrábět součásti, zvolenému materiálu se přizpůsobí typ podpěr.

Existují dva typy o různých rozměrech:

- podpěra ve tvaru „U“ – používá se k podepření jablek,
- podpěra ve tvaru „V“ – používá se k podepření trubek.

Seřizovač si zvolí plyn, kterým bude chtít řezat. Protože u většiny zakázek je tzv. zbytková tyč, seřizovač si zvolí, co s ní bude chtít udělat. Má tyto možnosti:

- zbytková tyč se může rozřezat,
- zbytková tyč se může vyložit strojně,
- zbytková tyč se může vyložit ručně.

Po provedení těchto operací je stroj připravený k výrobě. Seřizovač spustí výrobu. U prvních kusů zkontroluje rozměry, kvalitu řezu a popřípadě upraví řezné podmínky tak, aby dosáhl nejvyšší kvality řezu. Pokud je dosažena požadovaná přesnost a kvalita, stroj může běžet a zaměstnanec způsobilý k odběru hotových výrobků může odebírat hotové výrobky.

V tab. 2.7 jsou uvedeny strojní časy požadovaných součástí, ze kterých se budou počítat náklady na výrobu.

Tab. 2.7 Strojní časy nekonvenční výroby.

	Strojní čas laseru [min]
Součást 1	0,5
Součást 2	0,5
Součást 3	5,1

2.5 Náklady na výrobu požadovaných součástí nekonvenční metodou

U výroby pomocí laseru je výpočet jednodušší, protože seřizovač seřizuje stroj úplně stejným způsobem, obměňuje pouze podpěry, materiál a program, pomocí, kterého se pálí výrobky. Z toho vyplývá, že každé součásti náleží stejná doba seřízení. Rozdílný je pouze strojní čas, hodinová sazba výroby je stejná u všech součástí.

1) Součást 1

Náklady na seřízení (výpočet dle vzorce 2.1):

$$C_{seř} = 573 \cdot 0,3 = 171,90 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti (výpočet dle vzorce 2.2):

$$C_{seř} = 0,00815 \cdot 1548 = 12,60 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena (výpočet dle vzorce 2.3):

$$C_{celk} = 171,9 + 12,62 \cdot 5000 = 63271,90 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena pro různý počet kusů viz tab. 2.8.

Tab. 2.8 Celková výrobní cena pro různý počet kusů součásti 1.

Součást 1	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	184,60	298,10	802,80	1433,60	12788,10	63252,90

2) Součást 2**Náklady na seřízení (výpočet dle vzorce 2.1):**

$$C_{seř} = 573 \cdot 0,3 = 171,90 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti (výpočet dle vzorce 2.2):

$$C_{seř} = 0,0084 \cdot 1548 = 13,00 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena (výpočet dle vzorce 2.3):

$$C_{celk} = 171,9 + 13,00 \cdot 5000 = 65171,90 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena pro různý počet kusů viz tab. 2.9.

Tab. 2.9 Celková výrobní cena pro různý počet kusů součásti 2.

Součást 2	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	184,90	302,00	822,10	1472,30	13175,10	65187,90

3) Součást 3**Náklady na seřízení (výpočet dle vzorce 2.1):**

$$C_{seř} = 573 \cdot 0,3 = 171,90 \text{ Kč.}$$

Náklady na výrobu jednoho kusu součásti (výpočet dle vzorce 2.2):

$$C_{seř} = 0,0858 \cdot 1548 = 132,80 \text{ Kč.}$$

Celková výrobní cena (výpočet dle vzorce 2.3):

$$C_{celk} = 171,9 + 132,82 \cdot 5000 = 664271,90 \text{ Kč.}$$

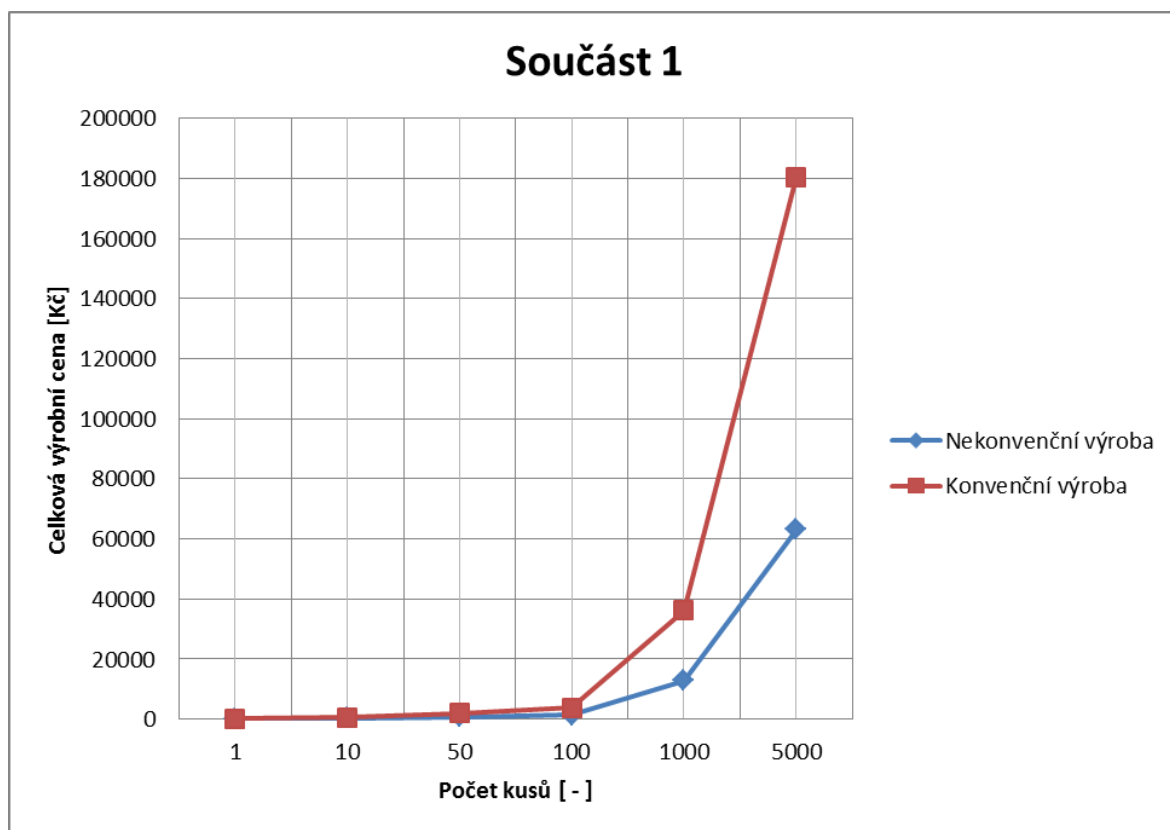
Celková výrobní cena pro různý počet kusů viz tab. 2.10.

Tab. 2.10 Celková výrobní cena pro různý počet součástí kusů 3.

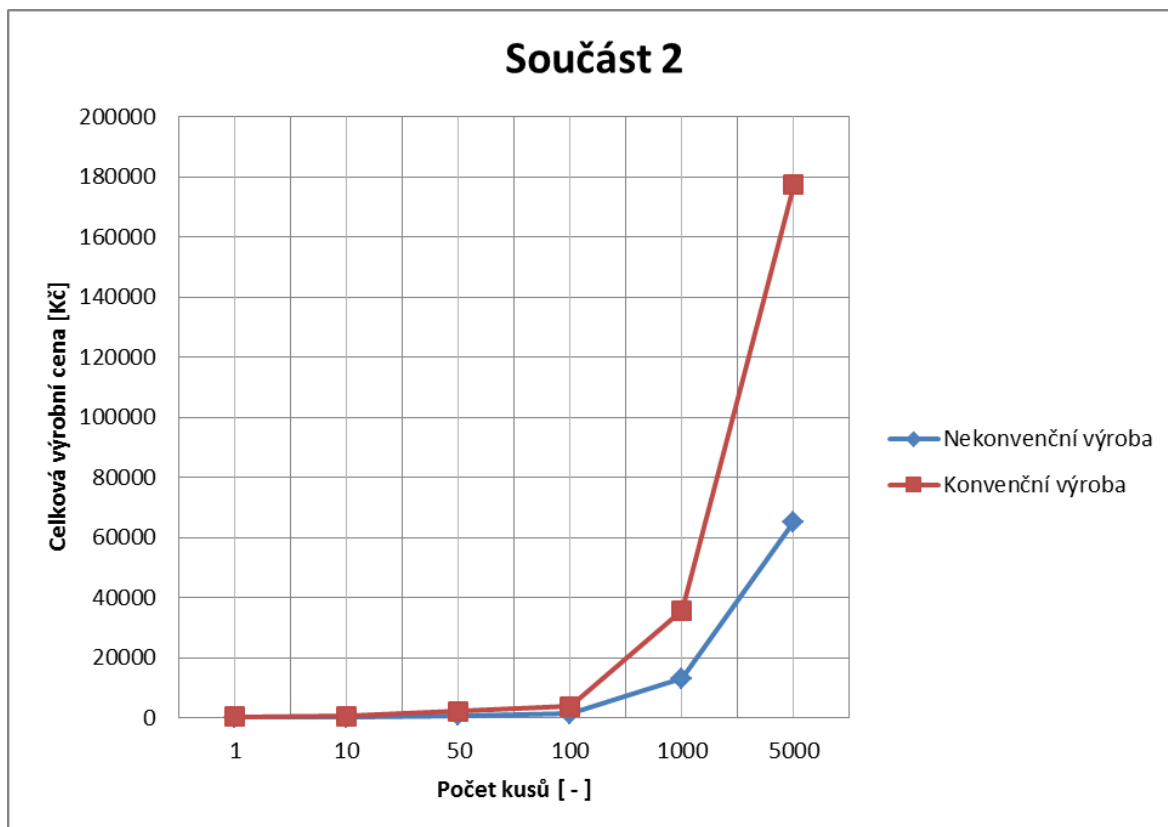
Součást 3	Kusy [-]					
	1	10	50	100	1000	5000
Celková výrobní cena [Kč]	304,80	1500,10	6812,90	13453,80	132990,30	664263,90

2.6 Srovnání výrobních nákladů konvenční a nekonvenční výroby

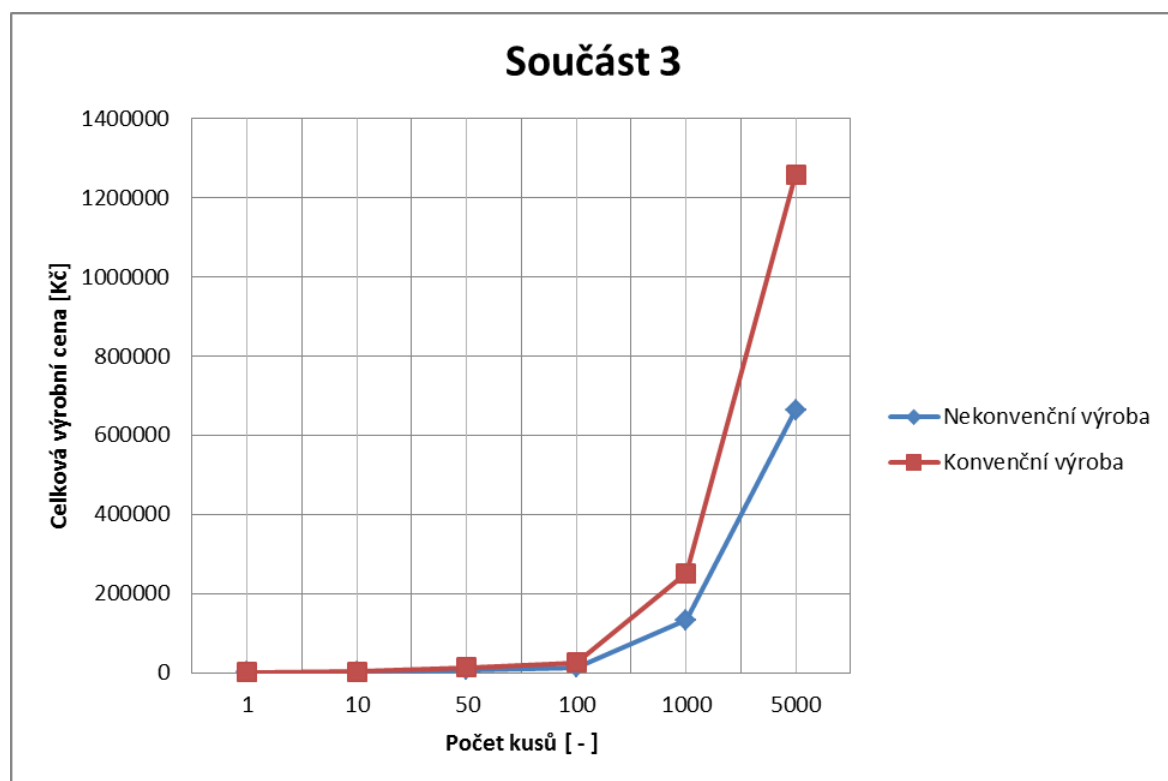
Po uvedení technologických postupů konvenční i nekonvenční výroby a celkových výrobních nákladů bylo sestaveno pro požadované součásti grafické znázornění, kde se vynesla celková výrobní cena v závislosti na počtu kusů.



Obr. 2.4 Grafické znázornění závislosti celkové výrobní ceny na počtu kusů pro součást 1.



Obr. 2.5 Grafické znázornění závislosti celkové výrobní ceny na počtu kusů pro součást 2.



Obr. 2.6 Grafické znázornění závislosti celkové výrobní ceny na počtu kusů pro součást 3.

Z grafických znázornění je vidět, že se nekonvenční výroba laserovým pálením vyplatí a že lze očekávat vysokou návratnost investice do pořízení nového stroje. Dosavadní výsledky lze považovat za dobrý základ pro obhajobu návrhu na změnu technologie obrábění daného typu dílů před vedením firmy. Jako další věc, přichází na řadu výpočet návratnosti změnou technologie výroby.

2.7 Návratnost stroje změnou technologie výroby

Návratnost stroje změnou technologie výroby znamená, kolik firma ušetří peněz a času, jestliže vyrobí roční množství výrobků jinou výrobní technologií než dosavadní. V tomto případě je to náhrada konvenční metody metodou nekonvenční. Jako první se muselo zjistit, kolik firma vyrobí výrobků za rok, což se dalo v logistickém systému jednoduše zjistit. Dále bylo zapotřebí si stanovit, v jakém poměru se vyrábí požadované součásti, což se také zjistilo v logistickém systému. Následně se vytvořila tab. 2.11, která měla za úkol odečíst od sebe celkové výrobní ceny a ukázat rozdíl, což jsou ušetřené náklady na výrobu.

Tab. 2.11 Návratnost stroje změnou technologie výroby.

Průměrný počet vyrobených výrobků za rok konvenční metodou			
Průměrný strojní čas konvenční výroby na 1 ks	0,063059412	Průměrný čas nekonvenční výroby na 1 ks	0,008223642
Průměrný počet pracovních hodin za rok	5480	Celkový strojní čas	670
Celková cena	6 300 430,00 Kč	Celková cena	1 995 240,00 Kč
Kolik se ušetří času z celoroční zakázky			88%
Kolik se ušetří nákladů na ročním množství výrobků vyráběných konvenčně			4 305 190,00 Kč

Za předpokladu, že firma bude schopna vytěžovat laserové pracoviště ve stejné míře jako konvenční pracoviště, lze předpokládat návratnost do jednoho roku. Ale je třeba se na tyto údaje dívat realisticky a s rezervou. Pokud by se investice do nového pracoviště vrátila během tří let, dalo by se to považovat za obrovský úspěch.

2.8 Výběr vhodného stroje pro firmu WANZL

Poté, co firma odsouhlasila investici pro nákup nového stroje, byly stanoveny požadavky na nákup nového stroje pro firmu WANZL a následně bylo vypsáno výběrového řízení a byly rozeslány poptávky do firem zabývajících se prodejem firmou potřebných strojů. Dle hodnocených výrobků ve výpočtové části a dalšího sortimentu firmy byla vypracována detailní tab. 2.15 s požadavky pro nákup nového stroje, která byla předložena společně se zdůvodněním potřeby požadovaných funkcí vedení firmy.

Tab. 2.15 Požadavky na funkce nového stroje.

Technická specifikace laseru na trubky	R.D.I.	Trumpf	TTM
Automatický zásobník pro vstupní materiál o max. délce 6 300 - 7000 mm	Ano	Ano	Ano
Nosnost zásobníku min. 3500 kg	Ano	Ano	Ano
Zásobník s úpravou proti poškození povrchu trubek - plastová vedení materiálu	Ano	Ano	Ano
Disponuje zařízením pro vyhledávání sváru na páleném materiálu a polohování profilů	Ano	Ano	Ano
Disponuje zařízením na měření torzního zkroucení materiálu nekruhového průřezu a následné softwarové kompenzace nepřesností	Ano	Ano	Ano
Provádí automatické měření délky vstupní tyče	Ano	Ano	Ano
Rozpětí maximální možné délky uřezaného kusu do vykladače na výstup 4 400 - 5000 mm	Ano	Ano	Ano
Možnost manuálního zakládání materiálu	Ano	Ano	Ano
Max. možný průměr pálené trubky do průměru 140 mm	Ano	Ano	Ano
Min. průměr pálené trubky od 12 mm	Ano	Ano	Ano
Min. rozměr páleného profilu od 15 x 15 mm	Ano	Ano	Ano
Max. rozměr páleného čtvercového profilu do 120 x 120 mm	Ano	Ano	Ano
Min. rozměr páleného nečtvercového profilu od 12 x 15	Ano	Ano	Ano
Max. rozměr páleného nečtvercového profilu do 120 x 100	Ano	Ano	Ano
Možnost řezání otevřených profilů typu I, L, U, C a pásovin)	Ano	Ano	Ano
Příprava pro řezání speciálních profilů zákazníka	Ano	Ano	Ano
Délka odpadu z opracovávané tyče max. 90 mm	Ano	Ano	Ano
Možnost vykládání délkově odlišných nařezaných kusů do různých pozic	Ano	Ano	Ano
Vykladače na výstupu materiálu min. 2 posice	Ano	Ano	Ano
Automatické seřízení stroje (zásobník, luneta, upínací vřeteno, modul vykládání kusů) při změně průřezu profilu bez nutnosti speciálního nářadí a podpěr pro změnu průřezu opracovaného materiálu	Ano	Ano	Ano
Maximální možné rozměry celého zařízení se zásobníkem 17,5 x 6 m	Ano	Ano	Ano
Pásový dopravník pro odvod zbytků 75 - 280 mm (odpad trubek) do kontejneru ze zadní strany stroje	Ano	Ano	Ano
Zdroj laseru, typ, výkon	Ano	Ano	Ano
Přesnost najetí na pozici 0,03 mm	Ano	Ano	Ano
Výkon zdroje laseru CO2 s integrovaným chladicím zařízením min. 2 400 W	Ano	Ano	Ano
Zařízení disponuje systémem pro minimalizaci časů propalu startovacích otvorů s kontrolou propalu	Ano	Ano	Ano
Zařízení má odsávání zplodin řezání s filtrací (umožňuje umístění na hale)	Ano	Ano	Ano
Požadovaná tloušťka páleného materiálu - ocel/ nerez/ Al od 8/5/4 mm	Ano	Ano	Ano
Stroj má automatické seřízení množství řezného plynu při řezu	Ano	Ano	Ano
Stroj disponuje možností automatické přeměny řezných plynů (kyslík/ dusík)	Ano	Ano	Ano
Software			
Digitální řídicí systém CNC	Ano	Ano	Ano
Součástí dodávky je SW pro programování a řízení stroje v češtině	Ano	Ano	Ne
Součástí dodávky SW umožňující pálení otevřených profilů typu I, L, U, C a pásovin	Ano	Ano	Ano
Kompletní 3D software pro externí programátorské pracoviště (příprava pálicích plánů)	Ano	Ano	Ano
Knihovny ohybových řezů	Ano	Ano	Ano
Možnost importu formátů .iges; .step	Ano	Ano	Ano
Součástí dodávky SW umožňující pálení speciálních profilů zákazníka	Ano	Ano	Ano
Software s funkcí simulace procesu řezání s výpočty výrobních časů na 1 ks	Ano	Ano	Ano
Připojení			
Možnost propojení stroje po interní firemní síti s externím pracovištěm programátora	Ano	Ano	Ano
Možnost telediagnostiky, podpora v českém, nebo německém jazyce	Ano	Ano	Ano
Vzdálený technický servis zahrnující telefonickou asistenci, vzdálené připojení k CNC	Ano	Ano	Ano
Pojistné prvky odpovídající normě CE	Ano	Ano	Ano

Zdůvodnění požadavků na funkce nového stroje:

Technické specifikace laseru:

- Minimální nosnost zásobníku – pro plynulý chod stroje a pro možnost vyrábění velkých zakázek, bez toho aniž by se zaměstnanec musel zaobírat neustálým doplňováním zásobníku materiálem a aby mohl kontrolovat kvalitu a přesnost vyráběné součásti, je důležité, aby stroj byl vybaven dostatečně velkým zásobníkem na materiál.
- Maximální délka vstupního materiálu – jelikož firma vyrábí výrobky, které dosahují délky mnohdy vyšší, než pět metrů, je důležité, aby stroj obsahoval zásobník o určité délce, do něhož se dá naložit vstupní materiál, ze kterého je možné vyrobit jakýkoliv výrobek z celého sortimentu firmy.
- Minimální a maximální rozměr profilu vstupního materiálu – protože firma vyrábí výrobky z nejrůznějších rozměrů profilů, je nutné, aby se tyto profily daly vložit do nového stroje.
- Možnost vykládání délkově odlišných nařezaných kusů do různých pozic vykladače na výstupu materiálu – protože firma vyrábí některé výrobky z profilu stejného rozměru a ve většině případů ze vstupního materiálu zbyde zbytková tyč, tak se v rámci šetření nákladů zbytková tyč dá rozřezat na jiný výrobek kratší délky. Proto je vhodné, aby stroj obsahoval více zásobníků, do kterých by stroj mohl automaticky třídit výrobky.
- Maximální rozměry stroje – jelikož hala, ve které bude stát nový stroj, je již z velké části technologií vyplněná, je třeba vymezit prostor stroje, proto jsou rozměry nového stroje omezeny na určitý rozměr.
- Pásový dopravník pro odvod zbytků do kontejneru v zadní části stroje – toto je další z kritérií, na které je třeba nezapomínat, protože stroj obsahuje mnoho míst, kde hrozí zaměstnanci mnoho úrazů, proto jsou tato místa vybavena pohybovými senzory, které stroj zastaví vždy, když na toto místo vstoupí zaměstnanec. Kdyby stroj neobsahoval tento pásový dopravník, veškeré zbytky by padaly na zem a v okolí stroje by se tvořil nepořádek a hrozilo by zaměstnanci nebezpečí úrazu. Proto by musel zaměstnanec pravidelně pod sebou uklízet, přerušoval by chod stroje tím, že by

pravidelně přerušoval světelnou závoru a zpomaloval by tímto plynulý chod stroje. Z důvodu efektivity práce, je lepší si připlatit a do tohoto vylepšení zainvestovat.

- Automatické seřízení stroje – ke zvýšení efektivity seřízení stroje firma klade požadavek na tuto funkci. Je daleko rychlejší, když si zaměstnanec navolí ve stroji materiál a stroj si veškeré podpěry, lunetu, zásobník a modul vykládání kusů seřídí sám.

Zdroj laseru, typ, výkon:

- Přesnost najetí na pozici 0,03 mm – jelikož se zvyšují požadavky zákazníka na přesnost, klade také firma důraz na přesnost chodu stroje.
- Výkon zdroje laseru CO₂ s integrovaným chladicím zařízením min. 2400 W – je důležité, aby laser dosahoval určitého výkonu, aby mohl vypálit výrobky o různých tloušťkách, bez toho aniž by se zhoršila kvalita řezu.
- Stroj obsahuje zařízení odsávání zplodin řezání s filtrací – protože při řezání laserem dochází k odpařování materiálu do ovzduší, může dojít k ohrožení dýchacího ústrojí zaměstnance, je třeba, aby stroj byl vybaven výkonným odsáváním s vysoce účinnými filtry.
- Požadovaná tloušťka páleného materiálu – jelikož firma vyrábí výrobky ze širokého spektra materiálu o různých tloušťkách, je třeba, aby tento stroj disponoval možnostmi pálit tyto typy materiálů.
- Automatické seřízení množství rezného plynu při řezu – z důvodu neustálého zvyšování kvality řezu, je lepší, když si stroj mění množství rezného plynu během řezu sám dle toho, jakou rychlostí zrovna řeže nebo jaký tvar zrovna vypaluje.

Software:

- Digitální řídicí systém CNC
- Součástí dodávky je SW pro programování a řízení stroje v češtině – jelikož ne všichni zaměstnanci ovládají anglický nebo německý jazyk na takové úrovni, aby mohli ovládat přístroj v cizím jazyce, pro firmu i pro samé

zaměstnance je lepší, když je ovládání stroje i programovací aplikace v češtině.

- Součástí dodávky je i SW umožňující pálení otevřených profilů – protože jeden z požadavků firmy byl, aby stroj uměl pálit otevřené profily, je na místě, aby ke stroji byl přiložen program umožňující pálení otevřených profilů.
- Software s funkcí simulace procesu řezání s výpočty výrobních časů na 1 ks – k výpočtu hodinové sazby stroje je třeba určitých hodnot, jako je např. strojní čas, proto není nic jednoduššího, když tyto hodnoty spočítá program sám a nemusí se zaměstnávat normovač se stopkami. Šetří to jak čas, tak peníze firmě.

Připojení:

- Možnost propojení stroje po interní firemní síti s externím pracovištěm programátora – z důvodu efektivity práce, je dobré, aby jeden zaměstnanec obsluhoval stroj a druhý měl možnost, bez přerušení výroby, programovat nové programy do stroje.
- Vzdálený technický servis zahrnující telefonickou asistenci, vzdálené připojení k CNC – ne vždy si s každým problémem, který může během provozu nastat, dokáže poradit vyškolený zaměstnanec, proto je dobré, když má možnost kdykoliv zavolat odborníkovi, který mu může poradit.

Toto jsou ve stručnosti zdůvodněné požadavky, které by měl splňovat nový stroj. Po odsouhlasení těchto požadavků, kterými by měl nový stroj disponovat, bylo vypsáno výběrové řízení. Rozeslala se poptávka do firem specializujících se na prodej laserů, jejímž obsahem byla právě tab. 2.15. Firmy specializující se na prodej laserových zařízení, podle toho, zda měly co nabídnout, poslaly zpět nabídku s krycím listem nabídky, požadovanými technickými parametry, čestným prohlášením o splnění základních kvalifikačních předpokladů, podklady prokazujícími splnění profesních kvalifikačních předpokladů, podklady prokazujícími splnění ekonomických a finančních kvalifikačních předpokladů, podklady prokazujícími splnění dalších kvalifikačních předpokladů – seznam referencí, popisem nabídky s vazbou na smluvní zajištění a hodnotící kritéria,

návrhem kupní smlouvy, prohlášením k podmínkám zadávacího řízení, čestným prohlášením o pravdivosti údajů a výkresy s tabulkami dílů pro kontrolu způsobilosti zařízení ve fázi přejímky a dle toho se firma rozhodla, kterého dodavatele vybere a se kterým naváže spolupráci.

Při výběru vhodného stroje z přijatých nabídek od firem zabývajících se prodejem laserů, se hledí na to, zda stroj splňuje zadaná kritéria, dále na pořizovací cenu stroje a dodávané služby dodavatelem (např. montáž stroje, pravidelný servis nebo nepřetržitou podporu na telefonní lince). Pokud firma nekupuje první stroj daného typu, je zřejmé, že už má určité zkušenosti s dodavatelem daného typu strojů, může se tedy těmito zkušenostmi nechat ovlivnit a při nerozhodném výběrovém řízení se přiklonit spíše k firmě, se kterou má lepší zkušenosti z dřívější doby.

Firma obdržela nabídku od tří dodavatelů – od firmy R. D. I. s. r. o., od firmy Trumpf Praha s. r. o. a od firmy TTM Laser S. p. A.. Byla vypracována hodnotící tab. 2.16, jejímž úkolem bylo zhodnotit služby dodávané dodavatelem společně s laserem. Hodnotící kritéria společně s jejich váhou určilo vedení firmy. Hodnoty se vložily do tab. 2.16 a ta určila celkové pořadí výběrového řízení.

Tab. 2.16 Hodnotící tabulka doručených nabídek.

HODNOTÍCÍ TABULKY DORUČENÝCH NABÍDEK:														
	1. KRITÉRIUM:			2. KRITÉRIUM:			3. KRITÉRIUM:			4. KRITÉRIUM:			VYHODNOCENÍ	
	celková nabídková cena za stroj - bez DPH			Doba dodání (dny)			záruka za kvalitu vlastní dodávky			Cena servisní služby po záruce v Kč/hod.			Celkový počet bodů	Celkové pořadí
	60%			5%			20%			15%				
Firma:	hodnota	body x váha	PRŮBĚŽNÉ POŘADÍ	hodnota	body x váha	PRŮBĚŽNÉ POŘADÍ	hodnota	body x váha	PRŮBĚŽNÉ POŘADÍ	hodnota	body x váha	PRŮBĚŽNÉ POŘADÍ		
R.D.I.	665 000 €	60,00	1	99	4,85	2	24	17,14	2	1 490	15,00	1	96,99	2
TRUMPF	670 000 €	59,55	2	96	5,00	1	28	20,00	1	1 490	15,00	1	99,55	1
TTM	750 000 €	53,20	3	135	3,56	3	24	17,14	2	3 033	7,37	3	81,27	3

Na základě hodnotících kritérií se firma WANZL rozhodla pro nákup stroje od firmy Trumpf, protože s firmou má dobré zkušenosti z minulých let a i přesto, že je stroj od této firmy dražší, nabízí firma delší záruku, kratší dobu dodání a levnější servis po záruce, což je pro firmu WANZL obzvláště důležité.

2.9 Standardizace pracoviště

Poté, co firma zakoupila nový stroj, bylo zapotřebí ho vhodně umístit do haly. Při volení vhodné pozice stroje je důležité dbát na to, aby umístění stroje neomezovalo tok materiálu a hotových výrobků firmou. Zároveň bylo nutné ponechat kolem strojů dostatek manipulačního prostoru, dostatek skladovacích ploch pro vstupní a výstupní materiál a dostatečně široké cesty, po kterých manipulanti přepravují materiál a hotové výrobky.

2.9.1 Vytvoření místa pro nový stroj

Aby se dal nakoupený stroj umístit do haly, je třeba pro něj a koneckonců pro celé pracoviště vytyčit dostatečně velkou plochu. Jedna z metod, jak se dá jednoduše rozvrhnout prostor pro všechny pracoviště je tzv. papírová metoda. Tato metoda byla praktikována při tvorbě místa pro laserové zařízení. Postup byl následující. Vytiskl se obrys haly na velkoplošný formát papíru, vytiskla a vystříhla se jednotlivá pracoviště ve stejném měřítku jako obrys haly. Postupně se vystřiženými pracovišti zaplňoval obrys haly a vznikal tak prostor vhodný pro laserové pracoviště. Při rozvrhování pracovišť je důležité dbát na optimální tok materiálu, pro jehož znázornění se užívá Sankeyova diagramu, který bohužel není obsahem této bakalářské práce.

2.9.2 Sestavení laserového pracoviště

Při sestavování pracoviště se využívá různých optimalizačních metod, které slouží ke zvýšení efektivity výroby a ergonomie pracoviště. Jednou z metod, využívaných v lean procesech a sestavování nejen pracovišť, ale i celých výrobních závodů, je metoda 5S.

Metoda 5S

5S, jinými slovy pět kroků dobrého hospodaření, je filosofie zabývající se zvyšováním produktivity a odstraňováním plýtvání v různých podobách. Metoda 5S vznikla v Japonsku, konkrétně ve firmě Toyota a její cíl je zefektivnit výrobu a zlepšit kvalitu výrobků. 5S není záležitostí jen firmy Toyota, je to filosofie celé japonské kultury a snaha obnovit hospodářství po 2. světové válce. Metoda se postupně dostala do USA, Evropy a dalších koutů světa. V praktické části se autor práce snaží aplikovat metodu 5S na laserové pracoviště pro firmu WANZL [22].

Pět kroků dobrého hospodaření [22]:

- Seiri: oddělit na pracovišti nezbytné a zbytečné věci, které se posléze odstraní.
- Seiton: přehledně uspořádat všechny věci, jež na pracovišti po provedení *seiri* zůstaly.
- Seiso: udržovat stroje i pracovní prostředí v čistotě.
- Seiketsu: dodržovat osobní čistotu a *seiri*, *seiton* a *seiso* se musí stát každodenní rutinou.
- Shitsuke: Budovat svou sebedisciplínu a zavést standardy, které budou obsahovat všech pět kroků.

Pět kroků detailně:Seiri (Roztřídit)

První krok zahrnuje označení veškerých věcí, které obsahuje aktuální pracoviště, na nezbytné a zbytečné položky a následné odstranění zbytečných věcí. Dále by měl být zaveden dovolený určitý počet nezbytných položek. Na pracovišti lze nalézt mnoho věcí a pracovník během své pracovní doby využije pouze určité procento ze všech věcí. Zbylé procento věcí pracovník buď nevyužije, nebo využije v nedohlednu. Proto je zbytečné, aby pracoviště obsahovalo příliš velké množství věcí. Příliš velký počet věcí způsobuje zmatek a pracovník ztrácí orientaci ve svých věcech, což v důsledku způsobuje prostoje. Odstraněním zbytečných věcí se uvolní místo a zvýší se pružnost využívání prostoru na pracovištích.

V praxi je možné se s tímto krokem setkat v podobě kampaně červených lístečků. Vybere se tým, který obdrží svazek červených lístečků a označí jím vše, co považuje za zbytečné. Štítkem se označí i věci, u kterých není známo, kdy budou zapotřebí. Během provozu se může stát, že pracovník potřebuje věc označenou červeným lístečkem. Aby si ji mohl na pracovišti ponechat, musí to oznámit a předvést, k čemu danou věc potřebuje. Věci označené červeným lístečkem jsou přesunuty do tzv. recyklační banky, což je sklad momentálně nepotřebných nebo přebytných věcí či výrobků. V případě potřeby se dá kdykoliv do skladu zajít a věc si vyzvednout [22].

Seiton (Srovnat)

Jakmile proběhl krok *seiri* a vše zbytečné bylo odstraněno a minimální počet nezbytných věcí zůstal na pracovišti, je třeba tyto věci uklidit. Protože pracovní stroj nebo pracovní nástroj je zaměstnanci k ničemu, musí-li jej hledat nebo není zrovna po ruce, musí se dle použití seřadit tak, aby jejich nalezení vyžadovalo co nejmenší úsilí a času. Nezbytné věci se tedy na pracovišti logicky uspořádají, resp. určí se jim místo, na kterém je pracovník kdykoliv najde a bude je mít vždy po ruce. Do druhého kroku dále patří stanovení omezeného počtu povolených položek na pracovišti. Další zbytečností je nadměrná produkce výrobků, protože skladovací prostory stojí firmu peníze a čas využitý nadměrnou produkcí lze využít ke zpracování jiné zakázky. Jakmile je dosažen požadovaný počet výrobků, výrobní proces se stopne do doby, než následující proces nespotřebuje určité množství rozpracovaného materiálu, což zajistí tok minimálního počtu položek na pracovišti od jednoho procesu k druhému [22].

Seiso (Vyčistit)

Dalším důležitým krokem je *seiso*, což znamená vyčištění pracoviště, tedy stroje a nástroje, ale také všechny podlahy, zdi a ostatní místa. V jiných překladech je možné pojem *seiso* najít pod slovem kontrola, neboť čistota pracoviště a jeho kontrola spolu úzce souvisí. Jde o to, že během čištění může pracovník narazit na závady a poruchy související s jeho pracovištěm (např. únik oleje ze stroje, prasklý kryt stroje, povolené matice a mnoho dalších) a tyto závady bez sebemenších problémů odstranit [22].

Seiketsu (Systematizovat)

Čtvrtý krok znamená udržovat osobní čistotu ve smyslu, že má zaměstnanec oblečené po dobu pracovní doby vhodný pracovní oděv, ochranné brýle, rukavice a pracovní boty, a že je pracoviště udržováno v čistém a nezávadném stavu. Nezbytnou součástí tohoto kroku je každodenně dodržovat *seiri*, *seiton* a *seiso*. Protože jednou uklidit pracoviště je snadné, ale těžší a nejdůležitější je, aby pracoviště bylo udržované v čistotě a aby během pracovní doby nevznikal na pracovišti nepořádek a chaos. Je důležité, aby vedení firmy pociťovalo vůči 5S závazek a aby podporovalo tyto kroky a účastnilo se jich [22].

Shitshuke (Standardizovat)

Shitshuke znamená sebedisciplína. Aby se dalo pracoviště označit jako pracoviště, které se řídí metodou 5S, je třeba, aby pracovníci dodržovali předchozí čtyři kroky metody 5S. Pokud je dodržují každý den rutinně, je možné o nich tvrdit, že mají sebedisciplínu. Bez ní nemůže zaměstnanec odvádět stoprocentně dobrou práci. Jedna z mnoha možností, jak udržet na pracovišti pořádek a čistotu, je standardizovat veškeré pracovní postupy a zahrnout do nich i úklid pracoviště a pravidelnou údržbu strojů a nástrojů. Jedině tak se dá zajistit plynulý a bezproblémový chod pracoviště, výrobní linky a také firmy [22].

Při vytváření laserového pracoviště se využila metoda 5S a prvním úkolem bylo vytyčení seznamu nezbytných věcí pro plynulý chod pracoviště, který obsahoval tyto položky:

- samotný stroj,
- informační tabule střediska,
- stolek s organizérem zakázek,
- skříň na osobní věci,
- přípravky potřebné pro seřizování stroje,
- kalibry pro kontrolu výrobků,
- úklidová stanice,
- prostor pro vstupní materiál,
- prostor pro výstupní materiál,
- prostor pro provozní prostředky (palety, stojany, stoly, paletové vozíky),
- transportní cesta,
- popelnice,
- šrot.

Dalším krokem při vytváření pracoviště bylo vhodně uspořádat všechny věci nezbytné pro plynulý chod pracoviště tak, aby při jejich potřebě pracovník neztrácel čas jejich hledáním a zároveň aby věci, momentálně nepotřebné, nepřekážely v plynulém provozu. Tento krok není záležitostí třiceti minut, ale několika hodin neustálého vyladování. Až je rozmístění položek uspořádáno tak, aby efektivita jejich využití byla maximální, je nutné se o toto uspořádání a o

všechny věci na pracovišti pravidelně starat, aby nevznikal chaos a nepořádek, který by mohl omezovat efektivní výrobní proces.

Jednou z dalších nezbytností je permanentní čistota na pracovišti nejen kvůli bezpečnosti ale i kvůli odhalování závad, které mohou omezit plynulý chod pracoviště a bezpečnost zaměstnanců. Nejlepší způsob, jak přimět zaměstnance k pravidelné údržbě pracoviště, je veškeré pracovní postupy standardizovat a do vytvořených standardů zahrnout i pravidelný servis a úklid jak pracoviště, tak i samotného stroje. Jedině tak, se dá zaručit bezproblémový a plynulý chod pracoviště, závodu i firmy.



Obr. 2.7 Nové laserové pracoviště.



Obr. 2.8 Pohled na vykládací jednotku nového laseru.



Obr. 2.9 Pohled na odsávací jednotku a popelnice.



Obr. 2.10 Pohled na stolek s organizérem zakázek.



Obr. 2.11 Organizér zakázek pro laserové pracoviště.

3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Laserová technologie je i na dnešní dobu vyspělou záležitostí a je zřejmé, že se technologie bude postupem času vyvíjet směrem kupředu. Tato metoda obrábění patří mezi nákladné z důvodu vysoké počáteční investice. Ovšem lze předpokládat, jak už bylo v experimentální části zjištěno, brzkou návratnost investice a vysokou ziskovost díky rychlému a přesnému řezu.

V experimentální části bylo zjištěno, že firma nákupem stroje ušetří na celoročním provozu konvenční výroby 4 305 190 Kč, což je více než uspokojivý výsledek a jestli firma bude maximálně vytěžovat stroj po celý rok, lze očekávat brzkou návratnost a také brzkou ziskovost. V současné situaci, kdy firma rozšiřuje výrobu, což se jí daří díky nárůstu zakázek, lze předpokládat tento odhad.

Při sestavování zakázek pro stroj je důležité počítat s možnou poruchou a mít časovou rezervu, kterou by firma mohla využít pro nezbytnou opravu, aby zajistila včasné dodání zakázky a nenarušila tak plynulý chod a návaznost výroby.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce je zaměřená na nekonvenční obrábění pomocí laserového paprsku. V úvodní části se autor práce zabýval teorií laserového pálení. Hned zpočátku autor shrnul vývoj laseru v historii a vysvětlil, jakým způsobem tato metoda funguje a z jakých komponent se skládá laserové zařízení. Následoval popis různých typů laserů a jejich využití v praxi. Na závěr teoretické části se autor práce snažil vybrat nejdůležitější činitele, které ve výsledků ovlivňují kvalitu řezu.

V experimentální části byl vypracován podrobný návrh na změnu technologie výroby, jejímž obsahem byla kompletní kalkulace konvenční a nekonvenční výroby. Z kalkulací se sestavila grafická znázornění ceny v závislosti na počtu kusů zadaných součástí. Obě metody se srovnaly a spočítala se návratnost změny technologie výroby. Po ověření, zda se nákup nového stroje vyplatí, následoval výběr vhodného stroje pro firmu WANZL. Vytýčily se základní požadavky, které musí nový stroj splňovat a vypsalo se výběrové řízení, které vyhrála firma TRUMPF. Na závěr experimentální části se muselo vytvořit laserové pracoviště. Při standardizaci laserového pracoviště se vycházelo z metody 5S, což je jedna z mnohých metod, které se využívá v lean procesech.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo sestavit návrh na změnu technologie výroby, která by mohla ušetřit jak čas, tak peníze firmě. V experimentální části se počítalo, kolik firma ušetří, jestli přejde z konvenční výroby na výrobu nekonvenční, tzn. porovnání roční kapacity konvenční metody vyráběné konvenčně a nekonvenčně. Vypočtené hodnoty z experimentální části:

- celková výrobní cena konvenční výroby: 6 300 430,00 Kč;
- celková výrobní cena nekonvenční výroby: 1 995 240,00 Kč;
- rozdíl výrobních cen obou metod v procentech: 68,33 %
- celkový strojní čas konvenční výroby: 5 480 hodin;
- celkový strojní čas nekonvenční výroby: 670 hodin;
- rozdíl strojních časů obou metod v procentech: 87,77 %.

Dle vypočtených výrobních cen, lze považovat výsledek za více než uspokojivý, neboť při vyplnění mezer v kalendářním roce, které vzniknou díky změně technologie výroby, lze předpokládat vzrůst ziskovosti výrobního úseku firmy.

Vypracovaný návrh na změnu technologie výroby lze brát jako možný vzor nebo standardizovaný postup pro budoucí změny ve výrobních procesech firmy.

Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle bakalářské práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi*. 1. vyd. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc, 2010. ISBN 9788087240656
- [2] J, Kroupa. *Technologie obrábění pomocí laseru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
- [3] KAVAN, P. *Analýza a využití laseru při obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009, 88 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
- [4] *50 years laser: Milestones* [online]. 2017 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.50-years-laser.com/50-years/milestones.html>
- [5] *Laser: Součásti laseru* [online]. 2013 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/soucasti.html>
- [6] *Konstrukce laseru* [online]. In: . b.r. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k12.htm>
- [7] ŘASA, J. a Z. KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění: 4. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [8] ŘASA, J. a Radka JINDROVÁ. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.htm>
- [9] MINAŘÍK, V. *Technologické lasery* [online]. 2007 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=228>

- [10] *Encyklopedie fyziky: Lasery plynové* [online]. 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/788-lasery-plynove>
- [11] *Laser: Polovodičové (diodové) lasery* [online]. 2013 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: http://lasery.wz.cz/polovodicove_lasery.html
- [12] *Laser: Kapalinové lasery* [online]. 2013 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: http://lasery.wz.cz/kapalinove_lasery.html
- [13] Schéma CO2 laseru. In: *Linkedin* [online]. b.r. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/application-co2-laser-printed-circuit-board-pcb-apple-he>
- [14] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 9788024821078
- [15] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění II: obrábění laserem, plazmou, ultrazvukem, elektronovým, iontovým a vodním paprskem*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 9788024839448
- [16] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 9788021440258
- [17] Gravírování. In: *Gravoline* [online]. b.r. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://gravoline.cz/lasero-gravirovani>
- [18] Řezání laserem. In: *KOVO FŮKAL* [online]. b.r. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.kovofukal.cz/sluzby/cnc-rezani-laserem.html>
- [19] Soustružení laserem. In: *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. b.r. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-lasero-predehrevu-pri-obrabeni.html>
- [20] Svařování laserem. In: *Http://www.dkstyl.com* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.dkstyl.com/galerie/svareni/nerez-bez-dratu/13.jpg>

- [21] ZATLOUKAL, Petr. *Welding.cz: Laserové dělení materiálu* [online]. 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
- [22] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 8025108503

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
$C_{seř}$	[Kč]	Cena seřízení jednoho stroje
$H_{seř}$	[Kč/hod.]	Hodinová sazba seřízení jednoho stroje
$T_{seř}$	[hod.]	Čas potřebný k seřízení jednoho stroje
$C_{výr}$	[Kč]	Cena jednoho výrobního procesu
$H_{výr}$	[Kč/hod.]	Hodinová sazba jednoho výrobního procesu
$T_{výr}$	[hod.]	Čas potřebný na jeden výrobní proces
C_{celk}	[Kč]	Celková výrobní cena
n	[-]	Počet vyráběných kusů

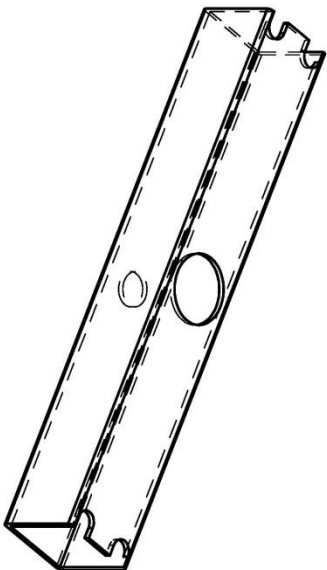
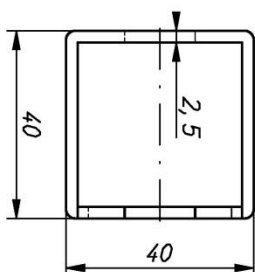
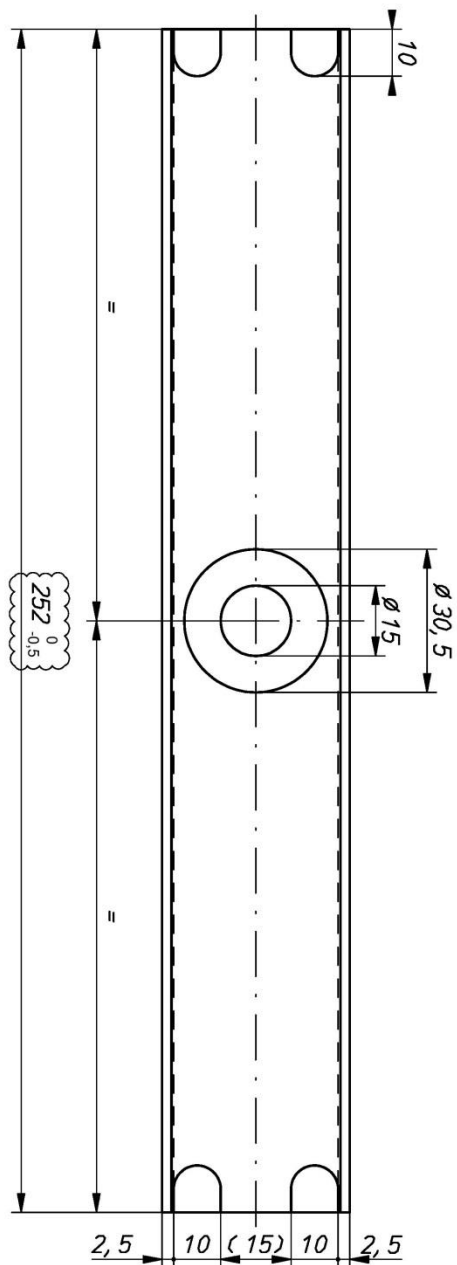
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres součásti 1

Příloha 2 Výkres součásti 2

Příloha 3 Výkres součásti 3

PŘÍLOHA 1

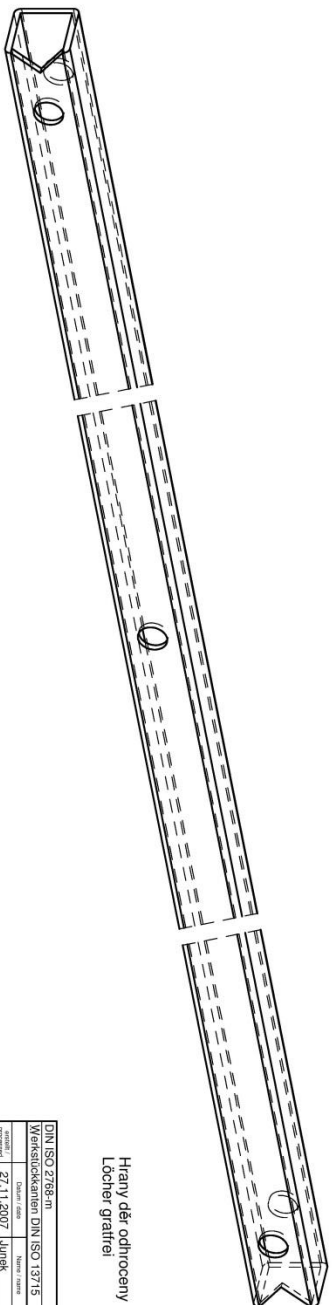
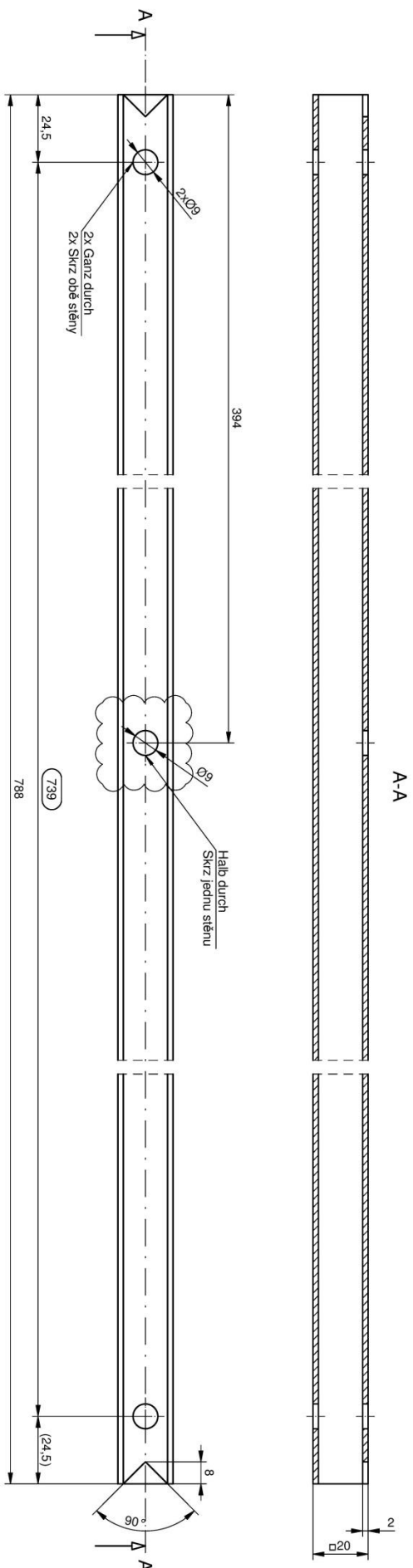


DIN ISO 2768-m		Secondary Angles / specific information		Drawing type	
...				Production Drawing	
Date / date		Verfälligungs- und Eigentumsrechte vorbehalten. Diese Zeichnung darf ohne unsere Genehmigung weder Dritten Personen noch			
entail / entailed		Kochunternehmen zur Verfügung gestellt werden. Copyrights and rights of ownership are reserved. This drawing must not be shown to			
processed / processed		other persons or companies without our permission.			
date / date		19.06.2014		Snasel	
approved / approved		18.06.2014		Pokes	
revised / revised					
Name / name		Verfälligungs- und Eigentumsrechte vorbehalten. Diese Zeichnung darf ohne unsere Genehmigung weder Dritten Personen noch			
Kochunternehmen zur Verfügung gestellt werden. Copyrights and rights of ownership are reserved. This drawing must not be shown to		other persons or companies without our permission.			
Title / title		1:1		Werkstoff / material	
Drawing		siehe Stückliste			
QR mit Loch für Kupplungszapfen					
Title		J		a	
Jäkl s dířov pro tažný čep		Zachřimannennr. / drawing number		77.79932.00-00000	

Darstellung kann vom gezeichneten Maßstab abweichen! / Drawing representation can deviate from the drawing scale!

Format DIN A3

PŘÍLOHA 2



Hrany děr odhroceny
Löcher gratfrei

DIN ISO 2768-m	DIN ISO 13715	Einzelteile / Assemblies	Produktion / Drawing
Werkstückname	Werkstücknummer	Produktions- / Dokument-Nummer	
Termin / Issue	Hersteller / Manufacturer		
27.11.2007	Hilpert		
Zeichner	Gezeichnet / Drawn		
Shabel			
29.05.2015	Geprüft / Checked		
Sellinger			
1.1	Werkstücknummer		
	Produktions- / Dokument-Nummer		
	Produktions- / Dokument-Nummer		

WABENZl
Metallwarenfabrik GmbH
Phone +49(0)8221/779-0
www.wabenzl.com

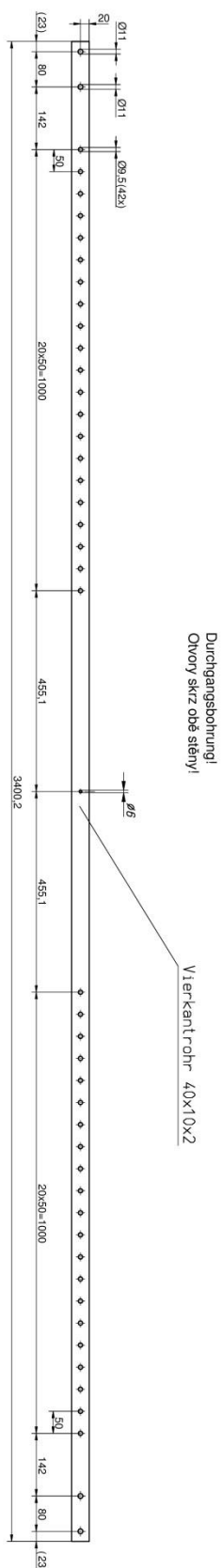
Q-Rohr 20x20x2x788mm mit L

Jäkl 20x20x2x788mm s dirami

Darstellung kann vom gezeichneten Maßstab abweichen / Drawing representation can deviate from the drawing scale

Format DIN A2

PŘÍLOHA 3

[illegible]